

PCT/PTO 19 DEC 2003

**CARBON NANOTUBE DISPERSED SOLUTION AND METHOD OF MANUFACTURING THE SAME**

**Patent number:** JP2005075661  
**Publication date:** 2005-03-24  
**Inventor:** SAKAKIBARA YOICHI; TOKUMOTO MADOKA;  
ROZHIN OLEKSIY; KATAURA HIROMICHI  
**Applicant:** NAT INST OF ADV IND & TECHNOL  
**Classification:**  
- **international:** C01B31/02  
- **european:**  
**Application number:** JP20030305681 20030829  
**Priority number(s):** JP20030305681 20030829

Report a data error here

**Abstract of JP2005075661**

<P>**PROBLEM TO BE SOLVED:** To provide a carbon nanotube dispersed solution comprising carbon nanotube, an amide based polar organic solvent and a nonionic surfactant and a method of manufacturing the same. <P>**SOLUTION:** The carbon nanotube is mixed and dispersed in a mixed solution of the amide based organic solvent and the nonionic surfactant while performing ultrasonic treatment. As the amide based organic solvent, any of dimethylformamide (DMF), diethylformamide, dimethylacetoamide(DMAc), N-methylpyrrolidone (NMP) or the like is used. As the nonionic surfactant, any of a polyoxyethylene base, a polyhydric alcohol fatty acid ester base, a base having both is used. The quantity of the nonionic surfactant to be added is generally 0.005-10% to attain sufficient dispersion effect. <P>**COPYRIGHT:** (C)2005,JPO&NCIP

---

Data supplied from the esp@cenet database - Worldwide

(19) 日本国特許庁(JP)

## (12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2005-75661

(P2005-75661A)

(43) 公開日 平成17年3月24日(2005.3.24)

(51) Int. Cl.<sup>7</sup>

C 0 1 B 31/02

F 1

C 0 1 B 31/02 1 0 1 F

テーマコード (参考)

4 G 1 4 6

審査請求 未請求 請求項の数 10 O L (全 11 頁)

(21) 出願番号	特願2003-305681 (P2003-305681)	(71) 出願人	301021533
(22) 出願日	平成15年8月29日 (2003.8.29)		独立行政法人産業技術総合研究所 東京都千代田区霞が関1-3-1
		(72) 発明者	榊原 陽一
			茨城県つくば市東1-1-1 独立行政法 人産業技術総合研究所つくばセンター内
		(72) 発明者	徳本 圓
			茨城県つくば市東1-1-1 独立行政法 人産業技術総合研究所つくばセンター内
		(72) 発明者	ロジン オレクシー
			茨城県つくば市東1-1-1 独立行政法 人産業技術総合研究所つくばセンター内
		(72) 発明者	片浦 弘道
			東京都八王子市みなみ野1-11-4-5 06
			最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 カーボンナノチューブ分散溶液およびその製造方法

(57) 【要約】 (修正有)

【課題】カーボンナノチューブ、アミド系極性有機溶媒および非イオン性界面活性剤からなるカーボンナノチューブ分散溶液およびその製造。

【解決手段】アミド系極性有機溶媒および非イオン性界面活性剤混合溶液に、超音波処理を行いながらカーボンナノチューブを混合分散する。本発明で用いられるアミド系極性有機溶媒としては、ジメチルホルムアミド (DMF)、ジエチルホルムアミド、ジメチルアセトアミド (DMAc)、N-メチルピロリドン (NMP) などのいずれも用いることができる。また、本発明で用いられる非イオン性界面活性剤としては、ポリオキシエチレン系、多価アルコールと脂肪酸エステル系、この両者を併せ持つ系のいずれであってもよい。これら非イオン性界面活性剤の添加量は、一般的には、0.005～10%であれば、

10

【選択図】 なし

## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

カーボンナノチューブ、アミド系極性有機溶媒及び非イオン性界面活性剤からなるカーボンナノチューブ分散溶液。

## 【請求項 2】

アミド系極性有機溶媒が N-メチルピロリドン (NMP) であることを特徴とする請求項 1 に記載のカーボンナノチューブ分散溶液。

## 【請求項 3】

非イオン性界面活性剤がポリオキシエチレン系界面活性剤であることを特徴とする請求項 1 又は 2 に記載のカーボンナノチューブ分散溶液。

10

## 【請求項 4】

非イオン性界面活性剤の添加量が 0.005～5%であることを特徴とする請求項 1 ないし 3 のいずれかに記載のカーボンナノチューブ分散溶液。

## 【請求項 5】

カーボンナノチューブが単層カーボンナノチューブ (SWNT) であることを特徴とする請求項 1 ないし 4 のいずれかに記載のカーボンナノチューブ分散溶液。

## 【請求項 6】

カーボンナノチューブとして、保留粒子径 0.1～3.0 マイクロ m のフィルター処理によって微細なカーボンナノチューブのみを含むことを特徴とする請求項 1 ないし 5 のいずれかに記載のカーボンナノチューブ分散溶液。

20

## 【請求項 7】

ポリマー系ナノコンポジットにおけるカーボンナノチューブの均一分散のために使用される請求項 1 ないし 6 のいずれかに記載のカーボンナノチューブ分散溶液。

## 【請求項 8】

光散乱性が減少していることを特徴とする請求項 1 ないし 7 のいずれかに記載のカーボンナノチューブ分散溶液。

## 【請求項 9】

アミド系極性有機溶媒及び非イオン系界面活性剤混合溶液に、超音波処理を行いながらカーボンナノチューブを混合分散することを特徴とするカーボンナノチューブ分散溶液の製造方法。

30

## 【請求項 10】

アミド系極性有機溶媒及び非イオン系界面活性剤混合溶液に、超音波処理を行いながらカーボンナノチューブを混合分散した後、保留粒子径 0.1～3.0 マイクロ m のフィルター処理することによって微細なカーボンナノチューブのみを含む溶液とすることを特徴とするカーボンナノチューブ分散溶液の製造方法。

## 【発明の詳細な説明】

## 【技術分野】

## 【0001】

本発明は、アミド系有機溶媒に非イオン性界面活性剤を添加したカーボンナノチューブ分散溶液及びその製造方法に関する。特に、カーボンナノチューブをポリマー系ナノコンポジットなどの各種用途への応用を可能にするためのカーボンナノチューブ分散有機溶媒及びその製造方法に関する。

40

## 【背景技術】

## 【0002】

近年発見されたカーボンナノチューブは直径 1 マイクロ m 以下の太さのチューブ状材料であり、理想的なものとしては炭素六角網目の面がチューブの軸に平行な管を形成し、さらにこの管が多重になることもある。このカーボンナノチューブは炭素ででき六角網目の数や、チューブの太さによって異なる性質を有し、将来の機械的及び機能的材料として期待されている。

## 【0003】

50

カーボンナノチューブを用いてこのような機械的及び機能的材料を製造する際には、カーボンナノチューブが均一に分散された溶媒を用いることが有益である。例えば、カーボンナノチューブが均一に分散された溶媒にポリマーを溶かすことによってカーボンナノチューブがポリマーマトリックスに均一に分散したナノコンポジットを製造することができる。また、カーボンナノチューブが均一に分散された溶媒の有する低い散乱性を利用して光学機器として用いることができる。さらに分散液の精製によってトランジスタ等の電子装置、電子放出装置や二次電池を製造する際にも利用される。例えば、炭素微粒子を用いたエミッタの形成方法としては、炭素微粒子を溶媒に分散した懸濁液を作成し、キャスト、スクリーン印刷、インクジェットなどの印刷技術を用いて基板となる支持部材上に懸濁液のパターンを形成した後、溶媒を乾燥して所望の形状を得ている。

10

#### 【0004】

一般に、カーボンナノチューブ分散用の溶媒としては、水溶性溶媒や有機溶媒あるいはそれらの混合溶媒が利用できることが知られている。例えば、水、酸性溶液、アルカリ性溶液、アルコール、エーテル、石油エーテル、ベンゼン、酢酸エチル、クロロホルム、イソプロピルアルコール、エタノール、アセトン、トルエン等が使用できる旨開示されている（下記、特許文献1参照）。

#### 【0005】

しかしながら、未だ、十分にカーボンナノチューブを溶媒に分散する方法は確立されていない。これはカーボンナノチューブ相互の凝集力（ファンデルワールス力）によって、束状及び縄状になってしまうためである。また、カーボンナノチューブの原子レベルでの滑らかな表面が溶媒に対する親和性を低下する要因となっている。したがって、カーボンナノチューブの特異で有用な性質にもかかわらず、これを均一に分散したポリマー系ナノコンポジットなどを製造することは極めて困難であり、カーボンナノチューブの各種用途への応用を事実上困難にしている。

20

#### 【0006】

これまでに、カーボンナノチューブの溶媒に対する分散性を改善するために様々な試みがなされているが、必ずしも十分な効果を得ていない。

#### 【0007】

まず、超音波をかけながらカーボンナノチューブをアセトン中に分散させる方法（下記、特許文献2参照）が提案されている。しかし、超音波を照射している間は分散できても照射が終了するとカーボンナノチューブの凝集が始まり、カーボンナノチューブの濃度が高くなると凝集してしまうということが起きてしまう。

30

#### 【0008】

次に、界面活性剤を用いることも提案されている。界面活性剤としては、非イオン系界面活性剤であるTergitol（商標）NP7を用いて超音波処理することが提案されているが、カーボンナノチューブの配合量を増加させると、カーボンナノチューブが凝集してしまい、均一な分散が得られない旨報告されている。（下記非特許文献1参照）また、単層ナノチューブを陰イオン性界面活性剤SDS水溶液中で超音波処理することにより、カーボンナノチューブ表面の疎水性と界面活性剤の疎水部を吸着させ、外側に親水部を形成して水溶液中に分散することも報告されているが（下記非特許文献2参照）、水溶性溶媒であるため、例えば、ポリマー系ナノコンポジットに応用する際、適用できる高分子は水溶性高分子に限られてしまい、応用範囲に限界がある。同様に、界面活性剤の代わりに水溶性高分子PVPの疎水部分をカーボンナノチューブの表面につける方法も提案されているが、やはり水溶性高分子であって応用範囲は限られている（下記非特許文献3参照）。

40

【特許文献1】特開2000-72422号公報

【特許文献2】特開2000-86219号公報

【非特許文献1】S. Cui et al., Carbon 41, 2003, 797-809

【非特許文献2】Michael J. O'Connell et al., SCIENCE 50

CE VOL 297 26 July 2002, 593-596

【非特許文献3】Michael J. O'Connell et al. CHEMICAL PHYSICS LETTERS, 13 July 2001, 264-271

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0009】

カーボンナノチューブを均一に分散した溶媒を用いると、カーボンナノチューブの特異な性質を利用して多様な用途へ応用が可能であるが、カーボンナノチューブ相互の凝集力、及び表面の親和力の低さから、均一に分散した溶媒を得ることは困難となっている。特に、ポリマー系ナノコンポジットなどへの応用に際しては、ポリマーの溶媒として多用されている極性有機溶媒へのカーボンナノチューブの分散が極めて有用であるにもかかわらず、これまでに、このような極性有機溶媒に効果的に分散させることには成功していない。

10

【0010】

したがって、本発明の目的は、ポリマー溶媒として有用な極性有機溶媒にカーボンナノチューブを有効に分散させることができる方法を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0011】

本発明は、非イオン性界面活性剤のカーボンナノチューブに対する分散剤としての機能に着目しつつ、非イオン性界面活性剤をアミド系極性有機溶媒、特に、NMP（Nメチルピロリドン）に、超音波を照射しつつ溶解させると、優れた分散剤としての機能を発揮することを見出したものである。これによって、カーボンナノチューブを利用したポリマー系ナノコンポジットの製造に極めて有利な方法が提供でき、また、光散乱の低減を利用した光学機器への応用等も可能となる。

20

【0012】

本発明は、具体的には、次の構成からなる。

（１）カーボンナノチューブ、アミド系極性有機溶媒及び非イオン性界面活性剤からなるカーボンナノチューブ分散溶液。

（２）アミド系極性有機溶媒がNメチルピロリドン（NMP）であることを特徴とする前記（１）に記載のカーボンナノチューブ分散溶液。

30

（３）非イオン性界面活性剤がポリオキシエチレン系界面活性剤であることを特徴とする前記（１）又は（２）に記載のカーボンナノチューブ分散溶液。

（４）非イオン界面活性剤の配合割合が0.005～5％であることを特徴とする前記（１）～（３）のいずれかに記載のカーボンナノチューブ分散溶液。

（５）カーボンナノチューブが単層カーボンナノチューブ（SWNT）であることを特徴とする前記（１）～（４）のいずれかに記載のカーボンナノチューブ分散溶液。

（６）カーボンナノチューブとして、保留粒子径0.1～3.0マイクロmのフィルターで処理することによって微細なカーボンナノチューブのみを含むことを特徴とする前記（１）～（５）のいずれかに記載のカーボンナノチューブ分散溶液。

40

（７）ポリマー系ナノコンポジットにおけるカーボンナノチューブの均一分散のために使用される前記（１）～（６）のいずれかに記載のカーボンナノチューブ分散溶液。

（８）光散乱性が減少していることを特徴とする前記（１）～（７）のいずれかに記載のカーボンナノチューブ分散溶液。

（９）アミド系極性有機溶媒及び非イオン系界面活性剤混合溶液に、超音波処理を行いながらカーボンナノチューブを混合分散することを特徴とするカーボンナノチューブ分散溶液の製造方法。

（１０）アミド系極性有機溶媒及び非イオン系界面活性剤混合溶液に、超音波処理を行いながらカーボンナノチューブを混合分散した後、保留粒子径0.1～3.0マイクロmのフィルターで処理することによって微細なカーボンナノチューブのみを含む溶液とするこ

50

とを特徴とするカーボンナノチューブ分散溶液の製造方法。

【0013】

本発明で用いられるアミド系極性有機溶媒としては、具体的には、ジメチルホルムアミド（DMF）、ジエチルホルムアミド、ジメチルアセトアミド（DMAc）、N-メチルピロリドン（NMP）などのいずれも用いることができるが、特に好ましくは、N-メチルピロリドン（NMP）を用いるとよい。これらは、多くの有機物（低級炭化水素を除く）、無機物、極性ガスおよび高分子、特に、ポリアミド、ポリイミド、ポリエステル、ポリウレタン、アクリル樹脂をとかすことができる。したがって、カーボンナノチューブをこれらの溶媒に均一に分散することができれば、その分散液にこれらの高分子材料をとかすことによってカーボンナノチューブが均一に分散したポリマー系ナノコンポジットを得ることができる。

10

【0014】

本発明で用いられる非イオン性界面活性剤としては、ポリオキシエチレン系、多価アルコールと脂肪酸エステル系、この両者を併せ持つ系のいずれであってもよいが、特に好ましくは、ポリオキシエチレン系のものが用いられる。ポリオキシエチレン系界面活性剤の例としては、脂肪酸のポリオキシエチレン・エーテル、高級アルコールのポリオキシエチレン・エーテル、アルキル・フェノール・ポリオキシエチレン・エーテル、ソルビタン・エステルのポリオキシエチレン・エーテル、ヒマシ油のポリオキシエチレン・エーテル、ポリオキシ・プロピレンのポリオキシエチレン・エーテル、脂肪酸のアルキロールアマイドなどがある。多価アルコールと脂肪酸エステル系界面活性剤の例としては、モノグリセライト型界面活性剤、ソルビトール型界面活性剤、ソルタビン型界面活性剤、シュガーエステル型界面活性剤などがある。

20

【0015】

これら非イオン性界面活性剤の添加量は、カーボンナノチューブの配合量、配合するアミド系極性有機溶媒の種類によって適宜定めることができるが、一般には、0.005～10%であれば、カーボンナノチューブの十分な分散効果を得ることができる。0.005%以下であると、カーボンナノチューブに対する界面活性剤の量が不足するために、一部のナノチューブは凝集して沈殿物が生じてしまう。また、10%以上であると、界面活性剤分子の溶媒中での分子回転が困難になるために、疎水性のナノチューブ表面に十分な量の界面活性剤の疎水部が吸着することが出来なくなり、微細なナノチューブの分散には不都合である。また、カーボンナノチューブの配合量を0.005～0.05%にした場合、非イオン性界面活性剤の配合量は、0.01～5%がよい。

30

【0016】

本発明で用いられるカーボンナノチューブには、多層のもの（マルチウォール・カーボンナノチューブ、「MWN T」と呼ばれる）から単層のもの（シングルウォール・カーボンナノチューブ、「SWN T」と呼ばれる）まで、それぞれ目的に応じて使うことができる。本発明においては、好ましくは、シングルウォール・カーボンナノチューブが用いられる。用いるSWN Tの製造方法としては、特に制限されるものではなく、触媒を用いる熱分解法（気相成長法と類似の方法）、アーク放電法、レーザー蒸発法、及びHiPco法（High pressure carbon monoxide process）等、従来公知のいずれの製造方法を採用しても構わない。

40

【0017】

以下に、レーザー蒸着法により、本発明に好適なシングルウォール・カーボンナノチューブを作成する手法について例示する。原料として、グラファイトパウダーと、ニッケルおよびコバルト微粉末混合ロッドを用意した。この混合ロッドを665hPa（500 Torr）のアルゴン雰囲気下、電気炉により1,250℃に加熱し、そこに350mJ/PulseのNd:YAGレーザーの第二高調波パルス照射し、炭素と金属微粒子を蒸発させることにより、シングルウォール・カーボンナノチューブを作製した。

【0018】

以上の作製方法は、あくまで典型例であり、金属の種類、ガスの種類、電気炉の温度、

50

レーザーの波長等を変更しても差し支えない。また、レーザー蒸着法以外の作製法、例えば、HiPco法、CVD法、アーク放電法、一酸化炭素の熱分解法、微細な空孔中に有機分子を挿入して熱分解するテンプレート法、フラーレン・金属共蒸着法等、他の手法によって作製されたシングルウォールナノチューブを使用しても差し支えない。

#### 【0019】

また、カーボンナノチューブの配合量は、使用目的によっても異なるが、分散性が得られる限り特に限定されるものではない。SWNTを用いて、NMP及びポリオキシエチレン系の界面活性剤の混合溶液に分散した場合、最大0.05%まで分散することができる。特に好ましくは、0.005から0.05%までがよい。

#### 【0020】

本発明で使用される超音波は、20kHz、150W及び28kHz、140Wを用い、約1時間処理することによって良好な分散効果を得ることができたが、本発明の超音波の条件はこれに限定されるものではない。配合されるカーボンナノチューブの量、アミド系極性有機溶媒の種類等によって、適宜、定めることが可能である。

#### 【0021】

本発明で使用されるフィルターは、ガラス繊維フィルター、メンブランフィルターなどが用いられる。その際、フィルターの保留粒子径は、目的に応じて適宜定めることができる。保留粒子径とは、JIS 3801で規定された硫酸バリウムなどを自然ろ過したときの漏洩粒子径により求めたものであるが、実質的には、フィルターの平均孔径に相当する。例えば、光散乱の低減を利用した光学機器に応用する場合、フィルターの保留粒子径は小さいほどよいが、一般には保留粒子径0.1～3.0マイクロmのものをを用いることができる。

#### 【発明の効果】

#### 【0022】

本発明にしたがって、カーボンナノチューブを非イオン性界面活性剤及びアミド系極性有機溶媒、特に、NMP（Nメチルピロリドン）混合溶液に、超音波を照射しつつ溶解させると、カーボンナノチューブが均一に分散した分散溶媒を得ることができる。これに対して、以下の実施例に示されるように、界面活性剤を添加しないと、NMP溶液を用いてもカーボンナノチューブは凝集してしまい均一に分散することはできない。また、本発明以外の極性溶媒と界面活性剤の混合溶液を用いても、カーボンナノチューブは凝集してしまい有効に分散させることは困難である。

#### 【0023】

このように、本発明は、アミド系極性有機溶媒に非イオン系界面活性剤を添加した溶液を用いることによって、カーボンナノチューブが凝集せずに均一に分散することができ、カーボンナノチューブ材料の様々な分野への応用が可能となる。

#### 【発明を実施するための最良の形態】

#### 【0024】

以下の実施例に示されるように、単層カーボンナノチューブ0.005～0.05%を、ポリオキシエチレン系界面活性剤0.01～5%を添加したNMP溶液に超音波を照射しながら分散させることにより、カーボンナノチューブの分散性に極めて優れた極性有機溶媒を得ることができる。

#### 【0025】

##### （実施例1）

HiPco法（高圧一酸化炭素法）により製作されたSWNT（1mg）を、NMP（Nメチルピロリドン）溶媒10gとポリオキシエチレン系界面活性剤であるTriton（商標）X-100（10mg）の混合溶媒に入れて混合し、超音波（20kHz）で1時間処理したところ、黒濁の液となり沈殿は生じなかった。

#### 【0026】

次に、このカーボンナノチューブ分散溶液を2つに分離し、それぞれ超遠心分離機による分離（190,000gで2時間）及びガラス繊維濾紙（GC-50、保留粒子径0.50

10

20

30

40

50

5 マイクロ m) で濾過し、超遠心分離により処理した液では、上澄み液が黒色かどうか、ガラス繊維濾紙により濾過した液では濾過液が黒色かどうか調べたところ、ともに黒色であることがわかった。

【0027】

(実施例2)

実施例1と同様のプロセスを界面活性剤の種類を変えて行った。HiPco法(高圧酸化炭素法)により製作されたSWNT(1mg)を、NMP(N-メチルピロリドン)溶媒10gとポリオキシエチレン系界面活性剤であるTriton(商標)N-101, Reduced(10mg)の混合溶媒に入れて混合し、超音波(20kHz)で1時間処理したところ、黒濁の液となり沈殿は生じなかった。

10

【0028】

次に、このカーボンナノチューブ分散溶液を2つに分離し、それぞれ超遠心分離機による分離(190,000gで2時間)及びガラス繊維濾紙(GC-50、保留粒子径0.5マイクロm)で濾過し、超遠心分離により処理した液では、上澄み液が黒色かどうか、ガラス繊維濾紙により濾過した液では濾過液が黒色かどうか調べたところ、ともに黒色であることがわかった。

【0029】

(実施例3)

実施例1と同様のプロセスを界面活性剤の種類を変えて行った。HiPco法(高圧酸化炭素法)により製作されたSWNT(1mg)を、NMP(N-メチルピロリドン)溶媒10gとポリオキシエチレン系界面活性剤であるIgepal(商標)CA210(10mg)の混合溶媒に入れて混合し、超音波(20kHz)で1時間処理したところ、黒濁の液となり沈殿は生じなかった。

20

【0030】

次に、このカーボンナノチューブ分散溶液を2つに分離し、それぞれ超遠心分離機による分離(190,000gで2時間)及びガラス繊維濾紙(GC-50、保留粒子径0.5マイクロm)で濾過し、超遠心分離により処理した液では、上澄み液が黒色かどうか、ガラス繊維濾紙により濾過した液では濾過液が黒色かどうか調べたところ、ともに黒色であることがわかった。

【0031】

(実施例4)

実施例1と同様のプロセスを界面活性剤の種類を変えて行った。HiPco法(高圧酸化炭素法)により製作されたSWNT(1mg)を、NMP(N-メチルピロリドン)溶媒10gとポリオキシエチレン系界面活性剤であるTween(商標)60(10mg)の混合溶媒に入れて混合し、超音波(20kHz)で1時間処理したところ、黒濁の液となり沈殿は生じなかった。

30

【0032】

次に、このカーボンナノチューブ分散溶液を2つに分離し、それぞれ超遠心分離機による分離(190,000gで2時間)及びガラス繊維濾紙(GC-50、保留粒子径0.5マイクロm)で濾過し、超遠心分離により処理した液では、上澄み液が黒色かどうか、ガラス繊維濾紙により濾過した液では濾過液が黒色かどうか調べたところ、ともに黒色であることがわかった。

40

【0033】

(実施例5)

実施例1と同様のプロセスを界面活性剤の種類を変えて行った。HiPco法(高圧酸化炭素法)により製作されたSWNT(1mg)を、NMP(N-メチルピロリドン)溶媒10gとポリオキシエチレン系界面活性剤であるBrj(商標)58(10mg)の混合溶媒に入れて混合し、超音波(20kHz)で1時間処理したところ、黒濁の液となり沈殿は生じなかった。

【0034】

50



次に、このカーボンナノチューブ分散溶液を2つに分離し、それぞれ超遠心分離機による分離（190,000gで2時間）及びガラス繊維濾紙（GC-50、保留粒子径0.5マイクロm）で濾過し、超遠心分離により処理した液では、上澄み液が黒色かどうか、ガラス繊維濾紙により濾過した液では濾過液が黒色かどうか調べたところ、ともに黒色であることがわかった。

【0035】

（実施例6）

実施例1と同様のプロセスを界面活性剤の濃度を変えて行った。NMP（N-メチルピロリドン）溶媒10gに対してポリオキシエチレン系界面活性剤であるTriton（商標）X-100を1mg、5mg、50mg、100mg、500mg、1000mg、1500mg、2000mg加えた混合溶液を調製し、それぞれにHiPco法（高圧一酸化炭素法）により製作されたSWNT（1mg）を混合し、超音波（20kHz）で1時間処理したところ、黒濁の液となり沈殿は生じなかった。

10

【0036】

次に、これらのカーボンナノチューブ分散溶液をガラス繊維濾紙（GC-50、保留粒子径0.5マイクロm）で濾過し、濾過液が黒色かどうか調べたところ、界面活性剤の添加量が1mg、5mg、50mg、100mg、500mgの場合は黒色であるが、1000mg、1500mg、2000mgの場合はほとんど透明であることがわかった。

【0037】

（実施例7）

実施例1と同様のプロセスを溶媒の種類を変えて行った。HiPco法（高圧一酸化炭素法）により製作されたSWNT（1mg）を、DMAc（ジメチルアセトアミド）溶媒10gとポリオキシエチレン系界面活性剤であるTriton（商標）X-100（10mg）の混合溶媒に入れて混合し、超音波（20kHz）で1時間処理したところ、黒濁の液となり沈殿は生じなかった。

20

【0038】

次に、このカーボンナノチューブ分散溶液を2つに分離し、ガラス繊維濾紙（GA-100、保留粒子径1.0マイクロm）およびガラス繊維濾紙（GC-50、保留粒子径0.5マイクロm）で濾過し、濾過液が黒色かどうか調べたところ、GA-100の場合は黒色であり、GC-50の場合もうすい黒色であることがわかった。

30

【0039】

（実施例8）

実施例1と同様のプロセスを溶媒の種類を変えて行った。HiPco法（高圧一酸化炭素法）により製作されたSWNT（1mg）を、DMF（ジメチルホルムアミド）溶媒10gとポリオキシエチレン系界面活性剤であるTriton（商標）X-100（10mg）の混合溶媒に入れて混合し、超音波（20kHz）で1時間処理したところ、黒濁の液となり沈殿は生じなかった。

【0040】

次に、このカーボンナノチューブ分散溶液を2つに分離し、ガラス繊維濾紙（GA-100、保留粒子径1.0マイクロm）およびガラス繊維濾紙（GC-50、保留粒子径0.5マイクロm）で濾過し、濾過液が黒色かどうか調べたところ、GA-100の場合はうすい黒色であり、GC-50の場合はほとんど透明であることがわかった。

40

【0041】

（実施例9）

実施例1と同様のプロセスをレーザー蒸着法で製作したカーボンナノチューブで行った。レーザー蒸着法で製作したSWNT（1mg）を、NMP（N-メチルピロリドン）溶媒10gとポリオキシエチレン系界面活性剤であるTriton（商標）X-100（10mg）の混合溶媒に入れて混合し、超音波（20kHz）で1時間処理したところ、黒濁の液となり沈殿は生じなかった。

【0042】

50

次に、このカーボンナノチューブ分散溶液を2つに分離し、それぞれ超遠心分離機による分離（190,000gで2時間）及びガラス繊維濾紙（GC-50、保留粒子径0.5マイクロm）で濾過し、超遠心分離により処理した液では、上澄み液が黒色かどうか、ガラス繊維濾紙により濾過した液では濾過液が黒色かどうか調べたところ、ともに黒色であることがわかった。

【0043】

（実施例10）

実施例1及び2で得られたカーボンナノチューブ分散溶液をそれぞれ、ブロック共重合ポリイミドのNMP溶液及びポリビニルピロリドンのNMP溶液に混合し、ドクターブレード法により薄膜を形成した。それぞれの薄膜を光学顕微鏡で観察したところ、ナノチューブの凝集体は観察されなかった。また、後者の薄膜について、顕微ラマン測定および可視・近赤外光吸収スペクトル測定を行ったところ、ナノチューブのラマンシグナルおよび光吸収が検出された。

10

【0044】

このように、本発明で得られたカーボンナノチューブ分散溶液を用いることによって、SWNTをポリマーに均一に分散できることが確認できた。

【0045】

（実施例11）

実施例1及び9で得られたカーボンナノチューブ分散溶液の光散乱性を動的光散乱測定装置によって確認したところ、極めて低い光散乱性を有することが確認できた。

20

【0046】

（比較例1）

実施例1と同様のプロセスを界面活性剤を用いずに行った。HiPco法により製作されたSWNT（1mg）を、NMP（N-メチルピロリドン）溶媒10gに入れて混合し、超音波（20kHz）で1時間処理したところ、黒濁の液を得たがガラス容器壁面にはカーボンナノチューブの沈殿が付着した。

【0047】

次に、黒濁したカーボンナノチューブ分散溶液を2つに分離し、ガラス繊維濾紙（GA-100、保留粒子径1.0マイクロm）およびガラス繊維濾紙（GC-50、保留粒子径0.5マイクロm）で濾過し、濾過液が黒色かどうか調べたところ、ともに透明であることがわかった。

30

【0048】

（比較例2）

実施例6と同様のプロセスを界面活性剤を用いずに行った。HiPco法により製作されたSWNT（1mg）を、DMAc（ジメチルアセトアミド）溶媒10gに入れて混合し、超音波（20kHz）で1時間処理したところ、黒濁の液を得たがガラス容器壁面にはカーボンナノチューブの沈殿が付着した。

【0049】

次に、黒濁したカーボンナノチューブ分散溶液を2つに分離し、ガラス繊維濾紙（GA-100、保留粒子径1.0マイクロm）およびガラス繊維濾紙（GC-50、保留粒子径0.5マイクロm）で濾過し、濾過液が黒色かどうか調べたところ、ともに透明であることがわかった。

40

【0050】

（比較例3）

実施例7と同様のプロセスを界面活性剤を用いずに行った。HiPco法により製作されたSWNT（1mg）を、DMF（ジメチルホルムアミド）溶媒10gに入れて混合し、超音波（20kHz）で1時間処理したところ、黒濁の液を得たがガラス容器壁面にはカーボンナノチューブの沈殿が付着した。

【0051】

次に、黒濁したカーボンナノチューブ分散溶液を2つに分離し、ガラス繊維濾紙（GA

50

ー100、保留粒子径1.0マイクロm)およびガラス繊維濾紙(GC-50、保留粒子径0.5マイクロm)で濾過し、濾過液が黒色かどうか調べたところ、ともに透明であることがわかった。

【0052】

(比較例4)

SWNT(1mg)を、アセトン10gおよびアセトン10gとポリオキシエチレン系界面活性剤であるTriton(商標)X-100(10mg)の混合溶媒それぞれに入れて混合し、超音波(20kHz)で1時間処理したところ、超音波処理終了後、両者とも溶液は黒濁せずカーボンナノチューブが凝集した沈殿物が生じた。

【0053】

10

(比較例5)

SWNT(1mg)を、ジメチルスルフォキシド10gおよびジメチルスルフォキシド10gとポリオキシエチレン系界面活性剤であるTriton(商標)X-100(10mg)の混合溶媒それぞれに入れて混合し、超音波(20kHz)で1時間処理したところ、超音波処理終了後、両者とも溶液は黒濁せずカーボンナノチューブが凝集した沈殿物が生じた。

【0054】

(比較例6)

SWNT(1mg)を、2-プロパノール10gおよび2-プロパノール10gとポリオキシエチレン系界面活性剤であるTriton(商標)X-100(10mg)の混合溶媒それぞれに入れて混合し、超音波(20kHz)で1時間処理したところ、超音波処理終了後、両者とも溶液は黒濁せずカーボンナノチューブが凝集した沈殿物が生じた。

20

【0055】

(比較例7)

SWNT(1mg)を、 $\gamma$ -ブチロラクトン10gおよび $\gamma$ -ブチロラクトン10gとポリオキシエチレン系界面活性剤であるTriton(商標)X-100(10mg)の混合溶媒それぞれに入れて混合し、超音波(20kHz)で1時間処理したところ、前者はカーボンナノチューブが凝集した沈殿物が生じ、後者はほぼ黒濁液となった。

【0056】

次に、後者のカーボンナノチューブ分散溶液を2つに分離し、ガラス繊維濾紙(GA-100、保留粒子径1.0マイクロm)およびガラス繊維濾紙(GC-50、保留粒子径0.5マイクロm)で濾過し、濾過液が黒色かどうか調べたところ、ともに透明であることがわかった。

30

【0057】

(比較例8)

実施例9と同様のプロセスを、界面活性剤を用いずに行った。比較例1で得られた界面活性剤を含まないカーボンナノチューブ分散NMP溶液を、ブロック共重合ポリイミドのNMP溶液及びポリビニルピロリドンのNMP溶液に混合し、ドクターブレード法により薄膜を形成した。それぞれの薄膜を光学顕微鏡で観察したところ、ポリマーとナノチューブの相分離に伴うナノチューブの凝集体の形成が観察された。

40

【産業上の利用可能性】

【0058】

本発明によって、カーボンナノチューブが均一に分散した極性有機溶媒が提供できるため、カーボンナノチューブを利用したポリマー系ナノコンポジットの製造、光散乱の低減を利用した光学機器への応用、電子放出用装置の製造など、多様な用途へのカーボンナノチューブ材料の製造が可能となる。

Fターム(参考) 4G146 AA11 AA12 AD17 CB12 CB19 CB35